

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-072759

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/025

G02B 6/122

G02B 6/13

(21)Application number : 09-233664

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 29.08.1997

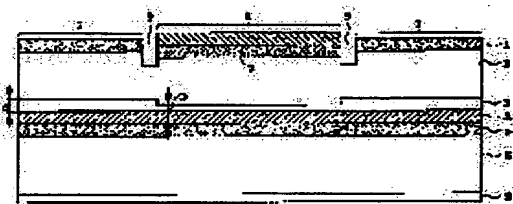
(72)Inventor : KONO KENJI

## (54) WAVEGUIDE TYPE OPTICAL DEVICE AND ITS PRODUCTION

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease the loss as a device by making a nondoped layer thin where only an optical functional part is present and forming a nondoped layer thick in a light-propagating part.

SOLUTION: The thickness  $d$  of a  $i$ -InP clad layer 3 is made thick as 0.3 to 0.4  $\mu\text{m}$  in a light-propagating part I, while in an optical functional part II, the layer is made thin same as a conventional device, for example, as 0.05  $\mu\text{m}$  thick. A  $i$ -MQW core 4 is 0.4  $\mu\text{m}$  thick. Therefore, the whole thickness  $D$  of the nondoped layer in the optical functional part II is made thin as 0.45  $\mu\text{m}$  same as a conventional one so that ON/OFF switching of light can be performed with low halfwavelength voltage. On the other hand, in the light-propagating part I having the length several times as that of the optical functional part II, the thickness  $d$  of the  $i$ -InP clad layer 3 is made thick as 0.3 to 0.4  $\mu\text{m}$ . Thereby, propagation loss due to influences of the  $p$  dopant can be decreased.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

# BEST AVAILABLE COPY

## Japanese Patent Application Laid-open No. 11-72759 (1999)

(11)Publication Number: 11-72759

(43)Date of Publication: March 16, 1999

(51)International Classification: G02F 1/025

G02B 6/122 6/13

(21)Application No.: 9-233664

(22)Application Date: August 29, 1997

(71)Applicant: 000004226

NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

3-19-2, Nishishinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo

(72)Inventor KONO KENJI

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(74)Agent: Patent Attorney Yoshikazu TANI (and other)

[0024] (Embodiment 2) A second embodiment of the present invention is shown in FIG. 7. FIG. 7 is a sectional view corresponding to the sectional view along line A-A' of FIG. 1. In this embodiment, the i-InP cladding layer 3 of the light propagating portion I has a thickness, for example, of 0.6  $\mu\text{m}$ , which is an extremely large thickness, and the p<sup>+</sup>-InGaAs cap layer 1 and the p-InP cladding layer 2 in the light propagating portion I are etched and removed, whereby a loss caused by a p dopant is remarkably reduced. If the i-InP cladding layer 3 of the light propagating portion is set to have a large thickness of about 0.6  $\mu\text{m}$ , an influence caused by the fact that an upper clad does not exist thereon will become satisfactorily small.

\*\*\*\*\*

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-72759

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 F 1/025

G 0 2 F 1/025

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

A

6/13

M

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-233664

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月29日

(72) 発明者 河野 健治

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

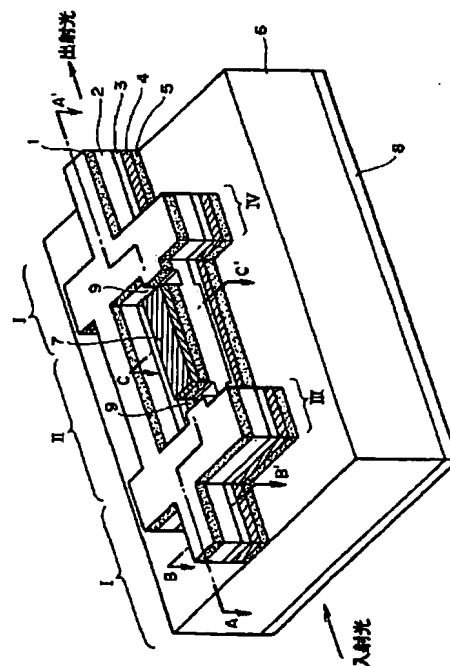
(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 導波路形光デバイスとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光伝搬部および光機能部を有する導波路形光デバイスにおいて、光機能部の半波長電圧 $V_{\pi}$ を低く、かつ光伝搬部の伝搬損失を小さくする。

【解決手段】 光伝搬部と光機能部とを有する導波路形光デバイスにおいて、光機能部のみのコア直上のノンドープ層（電気的絶縁層）の厚みを、光機能部が電圧形の場合はコア層の内部電界を高めて動作電圧を低くするに充分なだけ、電流形の場合は電流注入の効率を高めるのに充分なだけ薄くし、一方、光伝搬部のコア直上のノンドープ層の厚みは光導波路を構成する上部クラッドの導電性媒質の自由電子吸収に起因する伝搬損失を低減するに充分なだけ厚くする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に形成された少なくともコアと上部クラッドとを具備する光導波路によって構成される光伝搬部と光機能部からなり、前記光伝搬部の前記上部クラッドの少なくとも一部は電氣的絶縁層であり前記光機能部の前記上部クラッドの少なくとも一部に導電性媒質がドーピングされた導波路形光機能デバイスにおいて、前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みが零または前記光伝搬部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みより薄いことを特徴とする導波路形光デバイス。

【請求項2】 前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みを零または薄くすることによって前記コアの内部電界強度または電流注入の効率を大きくするとともに、前記光導波路部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みを厚くすることによって前記光伝搬部の伝搬損失を低減したことを特徴とする請求項1に記載の導波路形光デバイス。

【請求項3】 前記光伝搬部の上部クラッドが電氣的絶縁層のみからなることを特徴とする請求項1または2に記載の導波路形光デバイス。

【請求項4】 前記光伝搬部のコアの直上および前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層がノンドープ媒質および半絶縁媒質の少なくとも一方からなることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の導波路形光デバイス。

【請求項5】 半導体基板上に形成された少なくともコアと上部クラッドとを具備する光導波路によって構成される光伝搬部と光機能部からなる導波路形光デバイスの製造方法において、前記基板上にコアと電氣的絶縁層を順次成長する工程と、前記電氣的絶縁層のうち前記光機能部に相当する部分の少なくとも一部を厚み方向に除去する工程と、導電性媒質がドーピングされた層を前記光伝搬部と光機能部の上方に同時に再成長して上部クラッドを形成する工程を含むことを特徴とする導波路形光デバイスの製造方法。

【請求項6】 前記導電性媒質がドーピングされた層のうち、前記光伝搬部に相当する部分を除去する工程をさらに有することを特徴とする請求項5に記載の導波路形光デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は小形で低損失な導波路形光デバイスとその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】図8に導波路形光デバイスの従来例の一例としてマッハツェンダ形光変調器の斜視図を示す。図8において、領域Iは光伝搬部、領域IIは光機能部であり、本従来例では光位相変調部である。領域IIIは入力側3dBカップラ、領域IVは出力側3dBカップ

$$E = V/D$$

ラである。図9は、図8におけるA-A'線に沿った断面図、図10は、図8におけるB-B'線に沿った、すなわち光伝搬部Iの領域の断面図である。ここで、1は $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層、2は $p - \text{InP}$ クラッド層、3は厚み $d$ のノンドープ $\text{InP}$  ( $i - \text{InP}$ とも呼ぶ)クラッド層である。なお、 $p - \text{InP}$ クラッド層2と $i - \text{InP}$ クラッド層3により上部クラッドが構成されている。4はノンドープ多重量子井戸 ( $i - \text{MQW}$ とも呼ぶ)コアであり、ここではウェルとバリアはそれぞれ $\text{InGaAlAs}$  (厚み13nm)と $\text{InAlAs}$  (厚み5nm)から構成され、動作波長 $1.55\mu\text{m}$ に対し、エキシトンピーク波長は $1.41\mu\text{m}$ とした例である。5は $n - \text{InP}$ 下部クラッド、6は $n^+ - \text{InP}$ 基板、7はp側電極、8はn側電極、9は分離溝である。なお、光導波路としてはハイメサ光導波路が用いられており、ハイメサ光導波路の幅は $2\mu\text{m}$ 、 $i - \text{MQW}$ コア4の厚みおよび長さはそれぞれ $0.4\mu\text{m}$ および $1\text{mm}$ である。図8のC-C'線に沿った断面構造、すなわち光機能部IIの領域の断面構造は、 $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層1の上にp側電極7が設けられている以外、図10と同じなので図示を省略する。

【0003】以下、本従来例の動作を説明する。光導波路端面から入射した信号光は入力側3dBカップラIIIで2等分され、光機能部IIである位相変調光導波路へ送られる。位相変調光導波路の2本の光導波路の長さが等しい場合には、電極7へ電圧を印加しなければ光変調器はONとなる。つまり、電圧を印加しない場合には2分された光は同位相の状態で出力側3dBカップラIVへ伝搬した後、元のパワーに合成され、ON状態として出射される。一方、OFF時には電極7に逆バイアス電圧を印加することにより、位相変調光導波路の2本の光導波路のうち電極7がある方の光導波路の位相を $\pi$ ずらす (この動作電圧を半波長電圧 $V\pi$ と呼ぶ)。つまり、2本の光導波路を伝搬する光の出力側3dBカップラIVに入射する直前における光の位相は互いに $\pi$ ずれた状態になる。そのため、出力側3dBカップラIVで合波した結果、出射光はOFF状態となる。印加逆バイアス電圧に対する光出力特性の変化を図11に示す。図11において、光出力が最低となる逆バイアス電圧が $V\pi$ である。なお、この図は $i - \text{InP}$ クラッド3の厚みを $0.05\mu\text{m}$ 、 $i - \text{MQW}$ コア4の厚みを $0.4\mu\text{m}$ とした場合である。

【0004】この光変調器の動作電圧、つまり半波長電圧 $V\pi$ は $i - \text{MQW}$ コア4の内部電界 $E$ に大きく作用される。 $i - \text{InP}$ クラッド3の厚み $d$ と $i - \text{MQW}$ コア4の厚みの和を $D$ とすると、電圧 $V$ を印加したときの $i - \text{MQW}$ コア4の内部電界は近似的に

## 【0005】

## 【数1】

(1)

と表される。従って、同じ電圧 $V$ を印加したときに $D$ が小さければ $E$ が大きくなるので、小さな $V\pi$ （絶対値）で位相を $\pi$ だけ変えることができ、低電圧動作が可能となる。

【0006】ところが、従来の導波路形光デバイスにおいては、図9に示す断面図からわかるように、 $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ は光導波路の全体を通して同じである。 $V\pi$ の絶対値を小さくするためには、ノンドープ層の全厚み $D$ を薄く、従って $i$ -InPクラッド3の厚みを薄くする必要があるが、光伝搬部Iと光機能部IIにおける $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ は同じでなので、光機能部IIの $i$ -InPクラッド3の厚みを薄くするためには、光伝搬部Iの $i$ -InPクラッド3の厚みも薄くしなければならない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ここで、図12に従来例の光導波路を構成する $p$ -InPクラッド2の導電性媒質（ $p$ -ドーパントとも言い、ここでは $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ を仮定している）の自由電子吸収に起因する伝搬損失の計算結果を示す。図からわかるように、半波長電圧 $V\pi$ の絶対値を低減するために電氣的絶縁層である $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ を薄くすると、導波光の伝搬損失が急激に増加する。図8では光デバイスを模式的に示し、特に光機能部IIの構造を具体的に示すために、光伝搬部Iは一部のみを描いているが、一般に、光伝搬部Iの長さは光機能部IIの長さより数倍長いので、 $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ を薄くすると、光伝搬部Iにおける伝搬損失の増加の影響が顕著になる。一方、導波光の伝搬損失を低減するために電氣的絶縁層である $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ を厚くすると式(1)に従い、 $i$ -MQWコア4の内部電界 $E$ の絶対値が小さくなるため、位相を $\pi$ ずらすための半波長電圧 $V\pi$ の絶対値は大きくなる。

【0008】つまり、従来例では、 $i$ -InPクラッド3の厚み $d$ は光伝搬部Iと光機能部IIにおいて同じであるため、半波長電圧 $V\pi$ と光伝搬部Iにおける導波光の伝搬損失の間にはトレードオフの関係があった。この関係はコアが単層の量子井戸構造の場合でも、あるいは量子井戸でなくバルクの構造の場合でも同じである。

【0009】本発明はこのような従来の問題を解決し、半波長電圧 $V\pi$ が低く、かつ光伝搬部の伝搬損失が小さい導波路形光デバイスを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上述した目的を達成するために、本発明による導波路形光デバイスは、半導体基板上に形成された少なくともコアと上部クラッドとを具備する光導波路によって構成される光伝搬部と光機能部からなり、前記光伝搬部の前記上部クラッドの少なくとも一部は電氣的絶縁層であり前記光機能部の前記上部クラッドの少なくとも一部に導電性媒質がドーピングされ

た導波路形光機能デバイスにおいて、前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みが零または前記光伝搬部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みより薄いことを特徴とする。

【0011】ここで、前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みを零または薄くすることによって前記コアの内部電界強度または電流注入の効率を大きくするとともに、前記光導波路部のコアの直上の電氣的絶縁層の厚みを厚くすることによって前記光伝搬部の伝搬損失を低減する。

【0012】好ましくは、前記光伝搬部の上部クラッドが電氣的絶縁層のみからなり、または前記光伝搬部のコアの直上および前記光機能部のコアの直上の電氣的絶縁層がノンドープ媒質および半絶縁媒質の少なくとも一方からなる。

【0013】本発明による導波路形光デバイスの製造方法は、半導体基板上に形成された少なくともコアと上部クラッドとを具備する光導波路によって構成される光伝搬部と光機能部からなる導波路形光デバイスの製造方法において、前記基板上にコアと電氣的絶縁層を順次成長する工程と、前記電氣的絶縁層のうち前記光機能部に相当する部分の少なくとも一部を厚み方向に除去する工程と、導電性媒質がドーピングされた層を前記光伝搬部と光機能部の上方に同時に再成長して上部クラッドを形成する工程とを含むことを特徴とする。

【0014】ここで、好ましくは、前記導電性媒質がドーピングされた層のうち、前記光伝搬部に相当する部分を除去する工程をさらに有する。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明においては光伝搬部と光機能部とを有する導波路形光デバイスにおいて、コア直上のノンドープ層のうち、光機能部のみのノンドープ層（電氣的絶縁層）の厚みを、光機能部が電圧形の場合はコア層の内部電界を高めて動作電圧を低くするのに充分なだけ、電流形の場合は電流注入の効率を高めるのに充分なだけ薄くし、一方、光伝搬部のノンドープ層の厚みは光導波路を構成する上部クラッドの導電性媒質の自由電子吸収に起因する伝搬損失を低減するのに充分なだけ厚くする。ここで、効果を奏するコア直上のノンドープ層の具体的な厚みは、光機能部の厚みでは数100Åから0.1μm以下、例えば500Å、あるいは実質的に零であり、光伝搬部の厚みでは0.2μm～0.5μm以上、例えば0.3μmである。

【0016】本発明は、このような構成によって、光機能部が電圧形の場合には動作電圧を、電流形の場合には動作電流を低く設定できるとともに、一般に長さが長い光伝搬部における導波光の伝搬損失を小さくでき、光デバイスとしての損失を低減することができる。

【0017】

【実施例】

(実施例1) 図1に本発明による導波路形光デバイスの第1の実施例の斜視図を示す。Iは光伝搬部、IIは光機能部で本実施例では光位相変調部である。IIIは入力側3dBカプラ、IVは出力側3dBカプラである。図2には図1のA-A'線に沿った断面図を、図3には図1の光伝搬部Iの領域のB-B'線に沿った断面図を、図4には図1の光機能部IIの領域のC-C'線に沿った断面図を示す。ここで、1は $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層、2は $p - \text{InP}$ クラッド層、3は厚み $d$ の $i - \text{InP}$ クラッド層である。 $p - \text{InP}$ クラッド層2と $i - \text{InP}$ クラッド層3とで上部クラッドを構成する。4は $i - \text{MQW}$ コア、5は $n - \text{InP}$ 下部クラッド、6は $n^+ - \text{InP}$ 基板、7は $p$ 側電極、8は $n$ 側電極、9は分離溝である。

【0018】図2、図3および図4に示すように、本実施例では、 $i - \text{InP}$ クラッド層3の厚み $d$ を光伝搬部Iにおいては、例えば $0.3\mu\text{m}$ から $0.4\mu\text{m}$ と厚く、一方、光機能部IIにおいては従来例と同様に、例えば $0.05\mu\text{m}$ と薄くしている。 $i - \text{MQW}$ コア4の厚みは $0.4\mu\text{m}$ である。従って、光機能部IIにおけるノンドープ層の全厚み $D$ は従来例と同様に $0.45\mu\text{m}$ と薄く、低い半波長電圧 $V\pi$ によって光のON/OFFの切り換えができる。一方、従来例で説明したように光機能部IIの長さの数倍の長さを有する光伝搬部Iにおいては、 $i - \text{InP}$ クラッド層3の厚み $d$ は $0.3\mu\text{m}$ から $0.4\mu\text{m}$ と厚く、先に説明した $p$ ドーパントの影響による伝搬損失を小さくすることができる。

【0019】次に、本実施例の製作方法について、図5および図6を参照して説明する。図5、図6は、各工程における図1のA-A'線に沿った断面図に相当する断面図である。

【0020】(1) まず、図5に示すように、 $n^+ - \text{InP}$ 基板6の上に、公知の方法に従って、 $n - \text{InP}$ 下部クラッド5、 $i - \text{MQW}$ コア4および $i - \text{InP}$ クラッド層3を順次結晶成長する。この際、 $i - \text{InP}$ クラッド層3の厚みは、導波光が後に成長する $p - \text{InP}$ クラッド層2の影響を受け難いように厚くしておく。

【0021】(2) 次に、図6に示すように、図2の光機能部IIに相当する箇所の $i - \text{InP}$ クラッド層3を薄くエッチングする。エッチングはドライエッチングを用いても良いし、また、エッチストップパを利用して選択ウェットエッチングを行っても良い。

【0022】(3) 最後に、 $i - \text{InP}$ クラッド層3上に $p - \text{InP}$ クラッド層2、 $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層1を結晶再成長する。さらに、図1のように、光伝搬部I、光機能部II、入力側3dBカプラIIIおよび出力側3dBカプラIVの形状に導波路加工した後、 $p$ 側電極7と $n$ 側電極8を形成し、さらに $p$ 側電極7の両端の位置に分離溝9を設けて完成する。

【0023】なお、上記(2)の工程において、 $i - \text{I}$

$n\text{P}$ クラッド層3をほぼなくなるまでエッチングし、 $i - \text{MQW}$ コア4の直上に $p - \text{InP}$ クラッド層2を成長して上部クラッド層とすれば、ノンドープ層の全厚み $D$ が薄くなるので、式(1)からわかるように $i - \text{MQW}$ コア4の内部電界強度 $E$ の絶対値が大きくなり、従って、半波長電圧 $V\pi$ を最も低減できる。

【0024】(実施例2) 図7に本発明の第2の実施例を示す。図7は図1のA-A'線に沿った断面図に相当する断面図である。本実施例では、光伝搬部Iの $i - \text{InP}$ クラッド層3の厚みを、例えば $0.6\mu\text{m}$ と極めて厚くするとともに、光伝搬部Iにおける、 $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層1および $p - \text{InP}$ クラッド層2をエッチング除去し、 $p$ ドーパントによる損失を極めて小さくしている。なお、光伝搬部Iの $i - \text{InP}$ クラッド層3の厚みを $0.6\mu\text{m}$ 程度と厚くしておけば、その上の上部クラッドがないことの影響は充分小さくなる。

【0025】以上の実施例においては、光伝搬部Iにおける導波光の伝搬損失を低減するために用いる電氣的絶縁層としてはノンドープ媒質、すなわち $i - \text{InP}$ を用いる構造について説明したが、 $i - \text{InP}$ の代わりに半絶縁性媒質(例えば $\text{SI} - \text{InP}$ )を用いても良いことは言うまでもない。

【0026】また、逆バイアス電圧を印加する電圧形デバイスである光変調器について説明したが、本発明は光増幅器のように電流を注入する電流形デバイスにも適用できることは言うまでもない。さらに、ハイメサ形の光デバイスについて説明したが、本発明が埋め込み形光デバイスにも適用できることは言うまでもない。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光機能部のみのノンドープ層を薄くして、光伝搬部のノンドープ層を厚くするので、光機能部における動作電圧(電圧形)あるいは動作電流(電流形)は低く設定できるとともに、一般に長さが長くなる光伝搬部における導波光の伝搬損失を小さくでき、デバイスとしての損失を小さくできる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示す斜視図である。

【図2】図1のA-A'線に沿った断面図である。

【図3】図1のB-B'線に沿った断面図である。

【図4】図1のC-C'線に沿った断面図である。

【図5】第1の実施例の製作工程を説明する断面図である。

【図6】第1の実施例の製作工程を説明する断面図である。

【図7】本発明の第2の実施例を示す断面図である。

【図8】導波路形光デバイスの従来例の斜視図である。

【図9】図8のA-A'線に沿った断面図である。

【図10】図8のB-B'線に沿った断面図である。

【図11】従来例の動作を説明する図である。

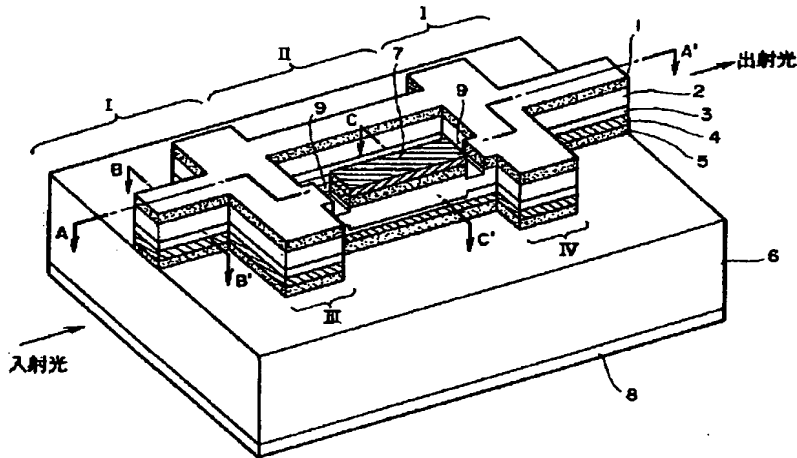
【図12】従来例を構成する光導波路の伝搬損失の計算結果を示す線図である。

【符号の説明】

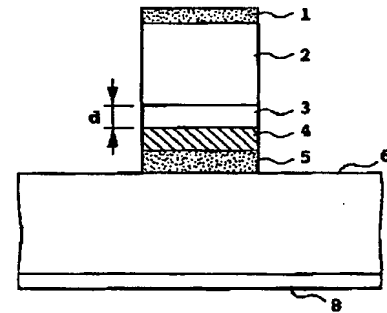
- 1 p<sup>+</sup>-InGaAsキャップ層
- 2 p-InPクラッド層
- 3 i-InPクラッド層

- 4 i-MQWコア
- 5 n-InP下部クラッド
- 6 n<sup>+</sup>-InP基板
- 7 p側電極
- 8 n側電極
- 9 分離溝

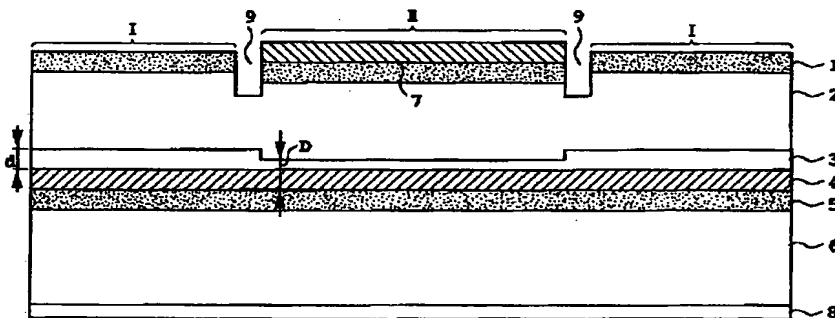
【図1】



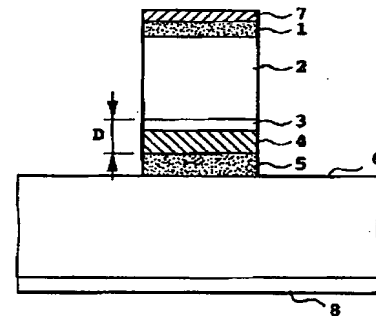
【図3】



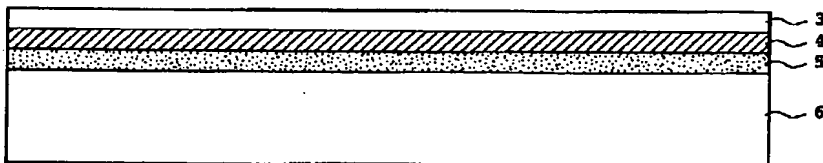
【図2】



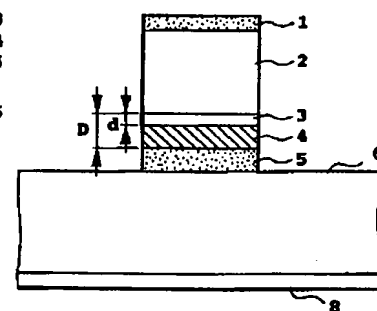
【図4】



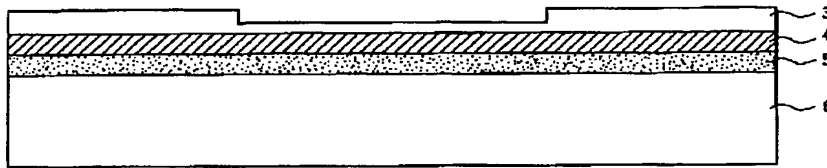
【図5】



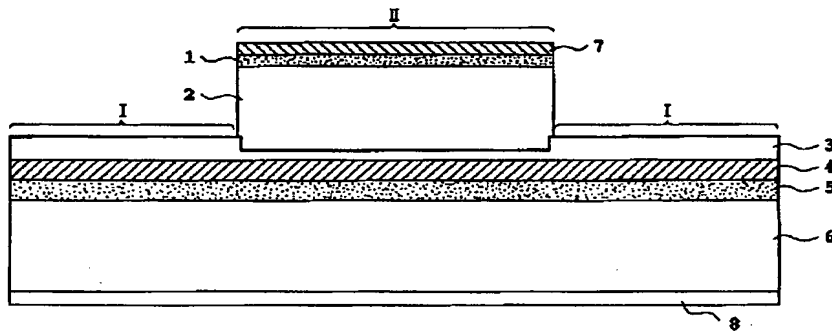
【図10】



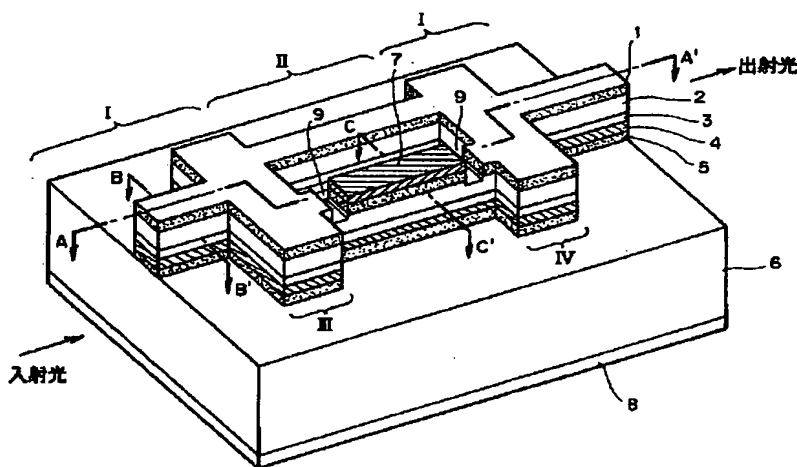
【図6】



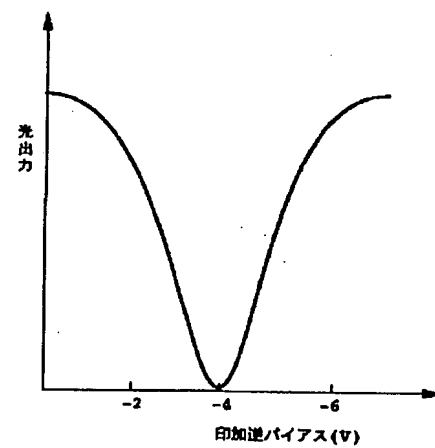
【図7】



【図8】



【図11】

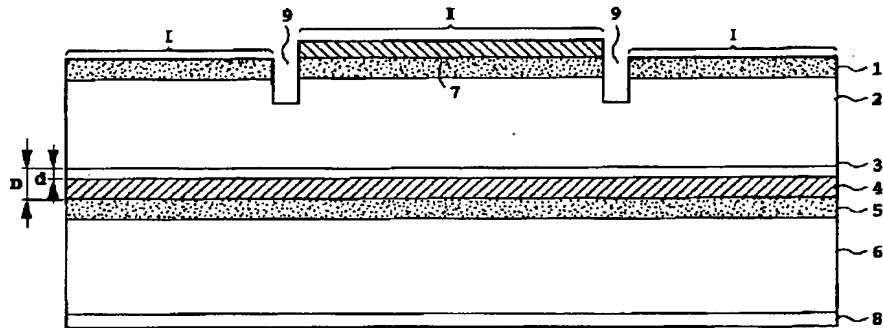




(7)

特開平11-72759

【図9】



【図12】

